
Wissensbasierte Unterstützung von Gruppenarbeit oder: Die Emanzipation der maschinellen Agenten

Dirk Mahling

Thilo Horstmann (DFKI-KL)

Astrid Scheller-Houy (DFKI-SB)

Andreas Lux (DFKI-KL)

Donald Steiner (Siemens AG)

Hans Haugeneder (Siemens AG)

Zusammenfassung

Die fortschreitende Entwicklung in den Gebieten Verteilte Künstliche Intelligenz und computer-gestützte Gruppenarbeit beinhaltet hohe synergetische Potentiale für die Modellierung und Entwicklung komplexer Mensch-Maschine Kooperations-szenarien. In diesem Artikel stellen wir ein theoretisches Rahmenwerk für die Modellierung kooperativer Arbeit dar, an der sowohl Menschen wie auch intelligente Systeme teilnehmen können. Die Sichtweise von CSCW (Computer Supported Cooperative Work) und VKI (Verteilter Künstlicher Intelligenz) wird dadurch zur Mensch-Maschine-Gruppe Kooperation (engl. Human-Computer Cooperative Work).

Auf der Grundlage dieses Rahmenwerkes wird eine Systementwurfssprache angedacht. Das Kooperationsmodell besteht zu einem Teil in der Beschreibung abstrakter Handlungsträger, die sowohl Menschen oder auch intelligente Systeme sein können. Es besteht ferner aus der Modellierung von Kooperations- und Koordinierungshandlungen die von den Handlungsträgern ausgeführt werden können. Handlungsträger bewegen sich dabei in einer Kooperationswelt, führen dort ihre Handlungen aus und interagieren. Durch die Einführung mehrerer solcher Welten nebeneinander kann eine Person oder Maschine in mehreren, verschiedenen Kooperations-szenarien eingebunden sein.

1 Einleitung

Durch die rapide Entwicklung in Computer-Supported Cooperative Work (CSCW), sozio-kognitiver Technik und Verteilter Künstlicher Intelligenz (VKI) ergibt sich ein synergetisches Potential, welches den Entwurf von innovativen Kooperations-szenarien und Systemen zulässt. Das KIK-Projekt (*Künstliche Intelligenz und Kommunikation*), ein gemeinsames Forschungsunternehmen des DFKI und der Siemens AG, versucht CSCW und VKI zu verbinden und so deren Vorteile in der

Gestaltung integrierter Lösungen für Kooperationsprobleme auszuschöpfen. Hauptanliegen dieses Artikels ist die Findung einer gemeinsamen kooperationstheoretischen Basis für diese Gebiete sowie die Entwicklung sich daraus ergebender Systeme.

CSCW und VKI beschäftigen sich beide mit den Problemen der Koordinierung von Handlungen mehrerer Beteiligter an einem bestimmten Problem. Während in CSCW die sozialen und kommunikativen Aspekte der Gruppenmitglieder im Vordergrund stehen, konzentrierte sich die VKI auf die abstrakten Informationsvoraussetzungen kooperativer Prozesse. VKI hat zu einer Vielzahl von Ansätzen geführt, wie maschinelle Handlungsträger in komplexen Problembereichen kooperieren können, die nicht von einem System allein bearbeitet werden können. *Kooperationsstrategien* wie z.B. die stark hierarchischen *Herr-und-Knecht Beziehungen* (engl. Master-Slave Relationships) oder die weniger autoritären *Vertragsnetze* (engl. contract nets) wurden auf ihre informationstheoretischen Inhalte analysiert und deren Eignung für Anwendungen in unterschiedlichen Kooperationsituationen untersucht.

Die Integration der spezifisch menschlichen Anforderungen und Möglichkeiten in der kooperativen Gruppenarbeit mit den generischen Strategien und Unterstützungspotentialen der VKI stellt den Mittelpunkt der hier präsentierten Forschungsarbeit dar. Insbesondere die Anwendung von abstrakten Kooperationsstrategien und speziell dafür konstruierten Unterstützungsmechanismen aus der VKI stellen Herausforderungen an intelligente CSCW-Systeme dar. Die zeitlich-räumliche Verteilung der kooperierenden Handlungsträger, gleich ob Mensch oder intelligente Maschine sowie deren unterschiedliche Kompetenz, müssen in der Planung des gesamten Kooperations szenarios berücksichtigt werden. Die Betrachtung von Menschen und intelligenten Systemen als Partner in der Kommunikation, der Kooperation, der Problemlösung sowie der Ausführung erweitert das bisherige CSCW-Paradigma hin zur kooperativen Mensch-Maschine Arbeit (HCCWW, engl. Human-Computer Cooperative Work).

HCCW entsteht also aus der Integration von maschinellen Handlungsträgern und deren formaler Theorie aus der VKI und den Ansätzen zur Unterstützung menschlicher Kooperation in der CSCW. Unser Ziel ist es, eine Integration der beiden Felder zu erreichen, die sowohl der Kommunikation, wie auch der verteilten Problemlösung dienen kann. Diese Vorgehensweise erlaubt uns, Fähigkeiten und Unterstützungspotential bereitzustellen, welches die Kooperation wissensbasierter Maschinen, intelligenter Schnittstellen und aller Personen ermöglicht. Dies wird durch einen mehrstufigen Prozeß angestrebt.

Dieser mehrstufige Prozeß beginnt mit der Entwicklung eines Entwurfparadigmas welches die sozialen, kognitiven und funktionalen Komponenten abbildet [4]. Dieser Abbildungsprozeß beinhaltet die traditionelle Aufgaben- und Zielanalyse, ethno-

graphische Methoden sowie weitere verhaltenswissenschaftliche und analytische Techniken. Nachdem die funktionalen, sozialen und kognitiven Komponenten des Realitätsbereiches abgebildet sind, kann die Modellierung beginnen. Bereits existierende Modelle und Theorien werden zu diesem Zweck in vorhandenen Wissenskörpern indiziert, um später Komponenten aus der Abbildungsphase integrieren, erklären oder vorhersagen zu können. Komponenten, die nicht derartig abgedeckt werden können, bilden möglicherweise den Ansatz zu weiterer theoretischer Forschung. Diese Schritte führen letztlich zu einem Modell, das die Komponenten aus dem Abbildungsprozeß und vorhandenes Wissen synthetisiert. Ein solches erweitertes und maßgeschneidertes Modell bildet die Basis für die weitere praktische Forschung in unserem HCCW-Ansatz.

Im zweiten Schritt können Implikationen auf der Basis des Modelles gezogen werden. Diese Implikationen geben Hinweise über Entwurf oder Modifikation der Kooperationsstruktur zwischen Handlungsträgern. Rapid Prototyping in Verbindung mit Benutzerzentriertem Entwurf und unter Einschluß von Endbenutzern wird verwandt, um eine erste Version des Systems zur Lösung der Anwendungs- und Kooperationsprobleme zu bauen. Diese Systemlösungen werden iterativ verbessert, bis operationalisierbare Benutzbarkeitsziele erreicht werden [8].

Im dritten Schritt wird die Spezifikation und der Entwurf einer Klasse von Kooperationssystemen angestrebt. Um die logischen Aspekte der Verteiltheit und der Kooperation in solchen Systemen zu unterstützen, wird in der KIK-Gruppe ein Rahmenwerk für mehrere Handlungsträger (MEKKA - engl. Multi Agent Environment for Constructing Cooperative Applications) entworfen.

Das MEKKA-Rahmenwerk soll durch folgende Eigenschaften charakterisiert werden [2]:

- *Verteiltheit*
Kollaboration zwischen Gruppenmitgliedern findet asynchron und verteilt statt.
- *Heterogenität*
Die Gruppe kann aus den unterschiedlichsten Mitgliedern bestehen, wie z.B. einfachen Sensoren, intelligenten Schnittstellen bis hin zu Personen, wobei alle diese Mitglieder drastisch verschiedene Funktionen und Fertigkeiten besitzen und auch einbringen.
- *Dynamik*
Die kooperativen Rollen der Gruppenmitglieder sind nicht vollkommen festgeschrieben oder vorherbestimmt; sie können während des Kooperationsprozesses adaptiert werden.

- *Redundanz*
Die Kompetenz der Handlungsträger kann überlappend, manchmal sogar entgegengesetzt sein, was zu erhöhten Anforderungen an die Modellierung des Gesamtprozesses führt.
- *Stabilität*
Die Arbeit in der Gruppe sollte durch den Verlust von Kommunikationslinien oder Gruppenmitgliedern nicht vollkommen blockiert werden. Eine gewisse Effektivitätseinbuße ist hinzunehmen.

Kooperation und Koordinierung sind fundamentale Bestandteile von vielen Handlungen, die wir tagtäglich ausführen. In dieser Arbeit definieren wir *kooperative Arbeit* als eine Aktivität, die zwei oder mehr Handlungsträger voraussetzt. Handlungsträger können dabei Menschen oder Maschinen sein. Jeder der Handlungsträger kann dabei Funktionen ausführen, die Einfluß auf den Zustand der Umgebung haben. Die Handlungsträger haben von diesem Zustand der Umgebung, kurz *Welt* genannt, eine kognitive Repräsentation. Eine kooperative Aktivität hat ein *Ziel*, welches aus einer Definition des gewünschten Zustandes der Welt besteht. Einige der Handlungsträger kennen das Gesamtziel der Gruppe möglicherweise nicht, sind aber bereit, Unterziele zu akzeptieren und an deren Erfüllung zu arbeiten. Es kann sogar sein, daß das Gesamtziel zu Beginn der Arbeit nur vage definiert ist und erst im Laufe der Aktivitäten der Gruppenmitglieder klarer herausgearbeitet werden kann.

Zielgerichtetes, kooperatives Arbeiten ist daher die Interaktion von Menschen und Maschinen, die zu einer Gruppe gehören und an der Erfüllung gemeinsamer sowie eigener Ziele arbeiten. Die Komplexität der Ziele in typischen Anwendungen wird durch Problemlöse- und Planungstechniken der KI gelöst [7]. Wegen dieser Komplexität und des begrenzten Wissens von Einzelpersonen in Organisationen ist Kooperation unabdingbar. Diese Interaktionen passieren nicht nur der Handlungsausführung halber, wie es normalerweise in Multiagentenplanung angenommen wird [6], sondern auch wegen der Planungsinitialisierung und der Konfliktresolution. Beispiele für zielbasierte Kooperation sind Projektmanagement, kollaborative Autorensysteme, die Entwicklung großer Wissensbasen [3] und Büroarbeit.

Koordination ist der Kontrollaspekt kooperativer Arbeit. Sie beschäftigt sich mit der Zuweisung, Zeitplanung und Überwachung kooperativer Handlungen, um ein Ziel effektiv zu erreichen, vorausgesetzt, daß begrenzte Ressourcen, Fertigkeiten und Zeit vorhanden sind.

In der folgenden Abhandlung wird das gesamte System von Handlungen und Handlungsträgern mit Spielern und Spielregeln in einem kooperativen Spiel gleichgesetzt. Die Elaboration der kooperativen Systemstruktur geschieht analog der Spielbeschreibung. Kapitel 2 führt das Spielbrett oder Spielfeld für das kooperative Spiel

ein. Kapitel 3 präsentiert mit unserem Handlungsträgermodell die Mitspieler. Spielregeln und Strategien werden in Analogie zu den Kommunikations- und Kooperationsstrategien in den Kapiteln 4 und 5 vorgestellt. In Kapitel 6 kommen wir zum Spielbrett zurück und erweitern es um die Möglichkeit der Teilnahme an mehreren Kooperationssituationen.

2 Kooperationskontext

Das Spielfeld der Kooperation soll unser erster Betrachtungsgegenstand sein. Die technische Bezeichnung für dies Spielfeld soll *Kooperationswelt* oder kurz *K-Welt* lauten. Die K-Welt bietet den Spielern (hier: Handlungsträgern) einen gemeinsamen Referenzrahmen und Bezug, genau wie ein Spielbrett dies mit seinen Markierungen und Spielsteinen tut. Handlungsträger agieren als Spieler in den von der K-Welt gesetzten Grenzen. Die K-Welt enthält außerdem die Verbindungslinien zwischen den Handlungsträgern. Kooperationsstrukturen und Verbindungen zwischen den Handlungsträgern in einer K-Welt unterliegen einem konstanten Wandel, hervorgerufen durch die Dynamik des Realitätsbereiches. Im Sinne einer realitätsnahen Modellierung muß dieser Wandel mit berücksichtigt werden. Zusätzlich wird dadurch die Struktur der Gesamtaufgabe, der korrespondierenden Unteraufgaben sowie die Freiheitsgrade der Kooperationsstruktur reflektiert. Der Freiheitsgrad weist auf die relative Autonomie eines Handlungsträgers hin. Dies ist vor allem für Personen, die menschlichen Handlungsträger, in einer K-Welt von hoher subjektiver Wichtigkeit oder dort, wo wegen der auszuführenden Aufgaben auf keine vorgegebene Struktur zurückgegriffen werden kann.

Das Spiel in der K-Welt besteht aus den kooperativen Handlungen. Während jedoch die meisten bekannten Spiele Wettkampfcharakter besitzen, ist die Kooperation eine Mischung aus Zusammenarbeit und freundlichem Wettstreit. Wir betrachten kooperative Handlungen als initiiert, um das abstrakte Ziel eines oder mehrerer Handlungsträger zu erreichen. Im Falle eines Ballspieles kann das Ziel darin bestehen, mit möglichst hoher Tordifferenz zu gewinnen. Dies Ziel wird von der gesamten Mannschaft getragen. Es kann in Unterziele für die Abwehr (keine Gegentreffer zulassen) und den Angriff (viele Tore erzielen) zergliedert werden. Die jeweiligen Mannschaftsteile werden unterschiedliche Strategien wählen, um diese Unterziele zu erreichen. Innerhalb dieser Unterziele können weitere Unterziele definiert werden und letztendlich einzelnen Spielern übertragen werden. Von daher sind mit jeder K-Welt die Aufgabendekompositionen der Handlungsträger verbunden.

Die K-Welt erlaubt die konzeptuelle Sicht der gesamten Aufgabenhierarchie und die Zuweisung von Aufgabenteilen an bestimmte Gruppenmitglieder. Im obigen Ball-

spielbeispiel bestände die gesamte Aufgabenhierarchie aus dem Gesamtziel *Das Spiel gewinnen* mit der Strategie, es mit möglichst hoher Tordifferenz zu tun, den Unterzielen *Keine Gegentreffer zulassen* für die Abwehr und *mindestens einen Treffer erzielen* für den Angriff. In der Abwehr könnte der rechte Flügel als weiteres Unterziel die Deckung einer besonders gefährlichen Angriffsspitze subsumieren.

Wie unser kleines Beispiel zeigt, entwickelt sich die Aufgabenstruktur während der Lebensdauer der K-Welt. Sie wird durch die Handlungsträger selbst fortentwickelt. Unterziele können während der Aufgabenplanung und Ausführung immer weiter untergliedert werden. Ereignisse in der K-Welt, die durch andere Handlungsträger oder äußere Ereignisse hervorgerufen werden, können zur Neuorientierung eines Handlungsträgers und einer damit verbundenen Umplanung führen. Ferner kann es zu einer Neuplanung der Aufgabenteile anderer Handlungsträger führen.

In der folgenden Beschreibung der Kooperation versuchen wir, diese Aspekte etwas enger zu formalisieren und konzentrieren uns dabei vor allem auf die drei wichtigsten Bestandteile der K-Welt: die individuellen Handlungsträger, die Kommunikation zwischen ihnen und ihre Koordination.

3 Handlungsträgermodell

Im folgenden wird der Begriff des Agenten identisch mit dem oben eingeführten Begriff des Handlungsträgers benutzt.

Das folgende beschreibt einige der diversen Mechanismen, die, möglicherweise in Verbindung mit geeigneter Software, Agenten eines distributierten Systems modellieren können: Sensoren, Drucker, Datenbanken, Text Publishing Systeme, Expertensysteme, Computerprozesse, Menschen. Zu beachten ist, daß im allgemeinen diese Systeme nicht unter dem Begriff Agent subsumiert werden können, wenn man sie für sich allein betrachtet. Vielmehr wird zusätzliche Funktionalität verlangt, die es den Agenten erlaubt, Botschaften wechselseitig auszutauschen, zu interpretieren und somit eine Schnittstelle zu unterliegenden Mechanismen bildet. Damit werden also weit mehr als nur die unterliegenden Mechanismen an sich benötigt. Daraus sehen wir, daß die Formalisierung des Begriffes 'Agent' die Repräsentation folgender zweier Hauptmerkmale unterstützen muß:

- *Ausführung von zugewiesenen Tasks bringt die Gruppe näher zum Top-Level Goal.*
Dies bezieht sich auf die individuelle Funktionalität eines Agenten zur Bearbeitung von Subtasks in der Anwendungsdomäne; der Grad der individuellen Fähigkeiten verschiedener Agenten kann dabei stark variieren (von, sagen wir, Drucken von Dokumenten bis hin zu komplexen Deduktionen in Wis-

sensbasen). Der Formalismus muß goal- oder taskorientierte Beschreibungen grundlegender Fähigkeiten eines Agenten liefern, so z. B. die Subtasks der Anwendungsdomäne, in die der Agent einbezogen ist. An dieser Stelle ist unerheblich, wie die grundlegenden Fähigkeiten des Agenten zustande kommen, sei es z. B. durch existierende Software oder durch wissensbasierte Systeme. Die Tasks für die oben aufgeführten Agenten könnten sein: Sensoren: Erfassen der Umgebung, Drucker: Drucken von Dokumenten, Datenbanken: Speichern und Abfragen von Informationen, TPS: Unterstützen in der Erstellung von Dokumenten, Expertensysteme: Ausführen von Deduktionen, Beantworten von Queries, Computerprozesse: Ablaufen lassen einer Vielfalt von Programmen, Menschen: Kreativ denken, Projekte leiten, Häuser bauen usw.

– *Teilnahme am Kooperationsprozeß*

Dies bezieht sich auf die Fähigkeit eines Agenten zur Ausführung von Kooperationsaufgaben. Zentraler Punkt aus einer Kooperationsweise heraus ist der zusätzliche Aufwand, den ein Agent aufbringen muß, um Subtasks in der Anwendungsdomäne abarbeiten zu können [5]. Dieses zusätzliche Verhalten basiert auf Wissen, welches explizit das zugrunde liegende Kooperationsmodell repräsentiert. Für die einfachen der oben aufgeführten Agenten beinhaltet dies z. B. Meldungen, daß ein Task erfolgreich bearbeitet wurde oder welches die Ursache für ein Scheitern war, Meldungen über Einsatzbereitschaft des Agenten usw. Für die komplizierteren Agenten erfordert eine Kooperation Interaktionen zwischen informationsanfordernden Agenten, Versenden von Informationen usw.

Weiterhin muß ein Agent mindestens die folgenden zwei Kriterien erfüllen, um effektiv kooperieren zu können:

- Ein Agent muß in der Lage sein, mit anderen Agenten in dem System zu kommunizieren (d.h. zu senden und zu empfangen zu bzw. von anderen Agenten).
- Ein Agent muß in der Lage sein, geeignet auf empfangene Botschaften zu reagieren (d.h. in Abhängigkeit des Inhalts der Botschaft bestimmte Tasks ausführen zu können).

Dies macht die Aufteilung eines Agenten in drei Teile sinnvoll [1]: In die funktionale Task-Solving Komponente *Körper*, die oberste Kooperationsebene *Kopf*, die Kommunikationsfunktionalität *Mund* mit den physikalischen Verbindungen zwischen Agenten über Kommunikationskanäle.

Körper

Der Körper des Agenten beinhaltet seine interne Problemlösungsexpertise und Basisfunktionalität: Der Teil, den der Agent unabhängig von Kooperation für sich allein ausführen kann. Der Körper kann Hardware (z.B. Sensor oder Roboter),

Software (z.B. Finanzberatungssystem) oder ein Mensch sein. Er kann aus schon existierender Hard- oder Software bestehen. Er kann unabhängig von Multi-Agenten Systemen sein und in unterschiedlichen Systemen arbeiten. Von einem Agenten wird erwartet, den allgemeinen Regeln, die in der Multi-Agenten Umgebung gelten, zu folgen. Wiederverwertung und Vervielfältigung von Körpern der maschinellen Agenten ist im allgemeinen möglich.

Für unsere obigen Agenten sind die jeweiligen Körper die Sensoren, Drucker, Datenbanken und Expertensysteme.

Kopf

Der Körper eines Agenten ist der Teil, der es ihm erlaubt, im Kooperationsprozeß teilzunehmen. Für Maschinenagenten ist er im allgemeinen ein aus verschiedenen Komponenten bestehendes Softwaresystem, und für Mensch-Agenten läßt er sich zusammengesetzt vorstellen aus passenden Schnittstellen zum Gesamtsystem und Wissen des Menschen selbst.

Um auf eine goalorientierte Weise am globalen Problemlösungsprozeß teilzunehmen, muß der Kopf des Agenten Wissen haben über:

- seine eigenen Fähigkeiten und Möglichkeiten,
- Fähigkeiten und Möglichkeiten anderer Agenten,
- Kommunikationsmöglichkeiten zwischen Agenten,
- den aktuellen Task.

Der Kopf kann also als ein Mittler zwischen der Funktionalität eines Agenten und des globalen Problemlösungskontextes betrachtet werden.

Weiterhin, damit ein Agent aktiv mit anderen kooperieren kann, muß er um die relevanten Kooperationsaspekte wissen:

- seine eigene(n) Kooperationsrolle(n),
- Kooperationsrollen der mit ihm kooperierenden Agenten (nicht notwendigerweise alle Agenten der K-Welt),
- global verfügbare Kooperationsstrategien, aus denen er auswählen kann, um neue Kooperationsstrukturen zu schaffen,
- augenblickliche Kooperationsstrukturen, in die er eingebunden ist.

Das Wissen eines Agenten kann während einer Initialisierungsphase berechnet (z.B. bei einer Datenbank) oder durch Transfer zwischen Agenten während Problemlösungsprozessen dynamisch erworben werden.

Wissen eines Agenten kann damit in zwei Teile gegliedert werden. Zum einen in den, der ihm auf einer Meta-Ebene erlaubt, sein eigenes Verhalten zu beschreiben und zum anderen in den, der zum Problemlösen oder zur Taskausführung benötigt wird [4].

Der Agent sollte Meta-Wissen auszudrücken in der Lage sein, d. h. Wissen über Wissen von anderen. Meta-Wissen von Möglichkeiten, Zustand und Verhalten anderer Agenten wird mit *epistemisches Wissen* bezeichnet. *Autoepistemisches Wissen* umfaßt Wissen eines Agenten über seine eigenen Möglichkeiten. Diese zwei Arten von Wissen ermöglichen Interaktionen zwischen Agenten: Treffen Nachrichten bei einem Agenten ein, benutzt der Agent sein autoepistemisches Wissen um für ihn interessante Informationen herauszufiltern, während beim Nachrichtenverschicken sein epistemisches Wissen ihm die Wahl der geeigneten Adressen gestattet. Epistemisches Wissen beinhaltet zudem Glauben über Interessen (Goals, Pläne) und Fähigkeiten anderer Agenten.

Die mit dem Agentenverhalten, welches seine Vorgehensweise and Handlungsregeln definiert, zusammenhängenden Probleme, können zu den folgenden Gruppen zusammengefaßt werden:

– Planen

Ein Agent muß in der Lage sein zu entscheiden, wann ein Problem gelöst oder ein Task ausgeführt werden soll, und wann andere Agenten einzubeziehen sind.

– Kooperation

Ein Agent muß entscheiden können, wann seine Arbeit zu unterbrechen ist, um Informationen anderer Agenten zu empfangen, und wann andere Tasks zu akzeptieren sind. Dies kann durch eine agenteneigene Evaluierungsfunktion geschehen, die die durch die vom Sender bewertete Wichtigkeit der Nachricht sowie sein eigenes Wissen berücksichtigt.

Das Verhalten des Agenten hängt vom Grad seiner Unabhängigkeit ab. Unser Modell bietet Mechanismen zur Beherrschung aller Grade von Unabhängigkeit, beginnend mit Nicht-Autonomie (wie bei einer Prozedur) bis hin zu völlig autonomen Agenten. Ein (halb-)autonomer Agent agiert in Abhängigkeit der organisatorischen Struktur der Gruppe, der Entwicklung des globalen Systems, des Eintreffens von lokalen Informationen. Vollständig autonome Agenten arbeiten gemeinschaftlich. In diesem Fall kann das Verhalten implizit gegeben sein. Es kann erweitert werden durch die Einführung einer Intelligenzenerweiterung, welche Opportunismus betrachtet und unvorhergesehene Ereignisse behandeln kann.

Das gruppensdynamische Verhalten eines Agenten hängt von der Organisationsstruktur ab, die ihn mit anderen Agenten verbindet. Diese Struktur definiert Überwachungs- und Informationsverbindungen (Tasks, Ergebnisse usw.) zwischen den Agenten und muß deshalb die Struktur des Problems beruckichtigen. Eine geeignete Organisationsstrategie unterstützt den Problemlosungsproze durch Beeinflussung des lokalen Verhaltens eines einzelnen Agenten.

Die Definition und Verwirklichung kooperativen Verhaltens ist eng mit dem gesamten System gekoppelt. Wir arbeiten es im folgenden weiter aus.

– Die Rolle des Agenten während Kooperation

Falls verschiedene Gruppen von Agenten unterschieden werden können, muß die Struktur jeder einzelnen Gruppe bekannt sein. Z. B. können verschiedene, an einem Subtask arbeitende Agenten, vorteilhaft von anderen Agenten des Systems als einzelner Agent betrachtet werden. Wenn ein außerhalb einer solchen Gruppe stehender Agent bezüglich des Gruppentasks relevante Informationen besitzt, ist es ausreichend, entsprechende Nachrichten nur an einen Agenten zu senden. Wie auch immer, diese Agenten müssen, unter anderen Gegebenheiten, möglicherweise unterschieden werden.

– Das Perzeptionsmodell des Agenten bezüglich Möglichkeiten, Fähigkeiten und Verfügbarkeit anderer Agenten.

Dieses Perzeptionsmodell beinhaltet statische ebenso wie dynamische Informationen (z. B. Verfügbarkeit oder Limitierungen in den Ressourcen).

Obwohl anwendungsunabhängige Kooperationsfunktionalitat wünschenswert ist, richten sich die Erfordernisse auch nach der konkreten Anwendung. Wir ermöglichen das Anpassen dieser Eigenschaften an den Sinn und Zweck der individuellen Anwendung.

Von weiterem Interesse ist die Schnittstelle zwischen Kopf und Körper eines Agenten. Besteht der Körper aus einem anspruchsvollen System, ist die Schnittstelle entsprechend der umfangreichen Eigenschaften des Körpers selbst kompliziert aufgebaut, bei einfacheren Körpers genügen simple Mechanismen.

Mund

Um mit anderen Agenten zu kommunizieren, muß ein Agent Zugriff zu geeigneten Telekommunikationskanälen, Netzwerkinformationen und Adressen der verschiedenen anderen Agenten haben. Die diese Funktionalität realisierenden Mechanismen befinden sich im *Mund* eines Agenten. Im wesentlichen verarbeitet der Mund Nachrichten vom Kopf, berechnet Adressen der Adressaten und sendet die Nachrichten.

Weiterhin empfängt er Nachrichten der anderen Agenten und leitet sie zum Kopf zur Weiterverarbeitung weiter. Der Mund bildet demnach die Schnittstelle zwischen Kooperationswelt und Agent. Oberflächlich betrachtet scheinen die Anforderungen an den Mund gering, wie wir jedoch in Abschnitt 4 sehen werden, sind sie sehr komplex und fundamental.

4 Kommunikationsgerüst

Die verbreitetste Form der Kommunikation zwischen Handlungsträgern ist die des Nachrichtenaustausches. Diese Nachrichten erscheinen oft als Standard e-mail Nachrichten. Eine Nachricht sollte aber mehr als nur Sender, Empfänger und Subjekt umfassen. Weitere Charakteristika einer Nachricht können sein: Priorität (dringend, normal, niedrig), Nachrichtentyp (Frage, Instruktion), erwarteter Antworttyp (keine, Empfangsbestätigung, Antwort auf eine Frage, ...). Außerdem können Nachrichten eindeutig durch ihre Kooperationswelt (K-Welt) und ihre Entwicklung identifiziert werden.

Wie schon erwähnt geschieht die Nachrichtenübertragung zwischen Handlungsträgern mittels Agentenkommunikatoren. Es gibt eine Vielzahl unterschiedlicher Kommunikationsformen, die Handlungsträger für diesen Zweck benutzen können:

- Elektronische Post
- Telefon (zwischen menschlichen und maschinellen Handlungsträgern mit den Fähigkeiten der Sprachsynthese und -erkennung)
- Videokonferenz (zwischen menschlichen Handlungsträgern mit grafischer Schnittstelle)
- Telnet
- Ethernet
- Breitbandnetze.

Die Kommunikationsformen unterscheiden sich in ihren Leistungen und Anforderungen, deshalb sind sie auch nicht für jede Situation gleich gut geeignet. Außerdem können Handlungsträger über eine Vielzahl von Adressen des gleichen Kommunikationsverbindingstyps erreicht werden. Es ist nun die Aufgabe des Kommunikators die Handlungsträger gemäß ihrer Bedürfnisse mit dem geeignetsten Kommunikationstyp zu versorgen.

Dies wird durch die Spezifizierung einer funktionalen Schnittstelle vervollständigt. Dadurch wird die Implementation eines Kommunikators auf verschiedenen Maschi-

nen gestattet, und Verbesserungen im Bereich der Telekommunikation können ohne eine Veränderung des Kopfes eingebunden werden. Der Kopf ist mittels einer high-level Sprache in der Lage, um eine Verbindung zu einem bestimmten Handlungsträger zu bitten. Der Kommunikator benutzt dann sein eigenes Wissen und seine Erfahrungen, um die Verbindung aufzubauen.

Ein solcher Kommunikator kann als Expertensystem realisiert werden, das das Wissen des Kopfes über kommunikationsrelevante Kooperationsaspekte und Informationen eines Netzwerkmanagements miteinander in Beziehung setzt und auswertet. Der Kommunikator ist zudem verpflichtet, sich über die aktuellen Kommunikationsmöglichkeiten, über Aktualisierungen im Netzwerk usw. zu informieren. Er muß Kenntnisse über die Schnelligkeit und die Kosten der Kommunikationsmethoden haben. So ist es möglich, schnelle und kostengünstige Methoden für das Verschicken von Nachrichten auszuwählen. Hat das Verschicken einer bestimmten Nachricht eine hohe Priorität, so kann evtl. der Kostenfaktor vernachlässigt werden (eine Eigenschaft der vom Kopf gesendeten Nachricht).

Wir sind der Meinung, daß der Kommunikator nicht unbedingt zu jedem Zeitpunkt über alle Informationen möglicher Kanäle und Adressen der Handlungsträger verfügen muß. Er muß nur in der Lage sein, sich diese Informationen bei Bedarf zu besorgen und die geeignete Verbindung aufzubauen. Der Kommunikator kann z.B. Informationen von anderen Handlungsträgern erhalten. Es ist natürlich wünschenswert, daß oft benutzte Informationen wie z.B. die Adressen anderer Handlungsträger, mit denen der Handlungsträger direkt in Kooperation steht, bei dem Kommunikator selbst verbleiben, um so das Netz zu entlasten.

5 Kooperationsmethodologien

Es sollte ein grundlegender Teil der Forschung zur Unterstützung kooperativer Arbeit sein, ein Verständnis zu entwickeln, wie Handlungsträger ihre Aktivitäten koordinieren und kooperative Ziele erreichen.

Es gibt einen Mangel an Theorien individueller Aktivitäten in kooperativen Umgebungen. Diese Umgebungen sind durch die gemeinsame Nutzung von Zielen, Aktivitäten, Informationen und Ressourcen gekennzeichnet. Kommunikation ist das Schlüsselwort, das diese gemeinsame Nutzung ermöglicht. Aber Kooperation bedeutet mehr als Kommunikation, es schließt die Semantik des Informationsaustausches mit ein. Der Austausch von Wissen zwischen den Handlungsträgern muß unterstützt werden. Aufgaben werden ebenfalls von einem Handlungsträger zum anderen übertragen oder von einem Handlungsträger an viele verteilt (broadcasting). Dieses Aufgabenübertragungsprotokoll für die Kooperation ist stark

abhängig von einer vordefinierten Aufgabenstruktur, die gültig für das gesamte Mehr-Agenten System ist.

Um Kooperation in einer Art zu charakterisieren, die den Entwurf von HCCW Systemen unterstützt, identifizieren wir eine Taxonomie von Aktivitäten, die wir *generische Aktivitäten* nennen und die unabhängig von dem Bereich der Kooperation sind. Generische Aktivitäten sind auf verschiedene Art und Weisen miteinander verbunden. Sie können aus anderen generischen Aktivitäten bestehen. Zusätzlich sind diese Aktivitäten zeitlich und kausal verbunden. Zum Beispiel: Nach der Auswahl eines Handlungsträgers für die Rollenzuweisung wird der Handlungsträger aufgefordert, diese Rolle auszuführen. Danach erfolgt die Generierung einer Erwartung bzgl. einer Erwidern, veranlaßt durch eine Aufforderung. Wir beschreiben kurz einige generische Aktivitäten und ihre Beziehung zueinander. Zu Beginn unserer Taxonomie gibt es vier Arten von Aktivitäten: *Initialisierung*, *Planung*, *Ausführung* und *Überwachung* und *Evaluierung*.

Initialisierung hat das Festlegen eines Zieles für einen oder eine Gruppen von Handlungsträgern zur Folge. Dies bewirkt eine beträchtliche Menge an Kommunikation und gemeinsam genutzten Annahmen wie das Beispiel der Diskussion einer Gruppe von Handlungsträgern über das Akzeptieren eines neuen Projektes zeigt.

Planung umfaßt die Untersuchung alternativer Wege zur Erreichung eines Ziels, das Setzen von Präferenzen zwischen diesen Alternativen, Einführung von Verpflichtungen hinsichtlich geplanter Aktivitäten, Zuweisung von Ressourcen zu den Aktivitäten usw. Es ist klar, daß Planung notwendig ist nicht nur zur Handhabung der komplexen Umgebung, sondern auch zur Koordination der Aktivitäten der Handlungsträger.

Ausführung ist die Leistung der Aktivitäten innerhalb des Plans, während Überwachung der Ausführung die Entdeckung von Diskrepanzen zwischen den Effekten einer Aktion und den Erwartungen eines Handlungsträgers umfaßt.

In kooperativen Umgebungen werden generische Aktivitäten entweder an andere Handlungsträger delegiert oder durch Verhandlung durchgeführt. Zum Beispiel wählt ein Handlungsträger einen anderen Handlungsträger mittels eines Angebotsmechanismus für eine Rolle aus. In dem generischen Aktivitätsrahmen ist dies die Untersuchung von Alternativen für das Auswählen eines Handlungsträgers und von Verhandlungen, die in Präferenzen für die Rollenzuweisung resultieren.

Evaluierung, entweder explizit oder implizit, ist das Problemlösen, das allen Aktivitäten der Handlungsträger zugrunde liegt. Evaluierung der Ergebnisse eines Handlungsträgers zeigt die möglichen Probleme mit aktuellen Plänen auf, und sie kann neue Ziele für einen Handlungsträger oder eine Gruppe von Handlungsträgern initialisieren.

Generische Aktivitätsstrukturen liefern eine Menge an Protokollen ähnlich Sprache/Aktion Strukturen [9], jedoch integrieren sie das Problemlösen und die Kommunikation ins kooperative Arbeiten. Solche Protokolle wurden in der verteilten KI für die Koordination von Aufgabenzuweisungen [7] benutzt. Diese Arbeit untersucht deren Eignung für die Unterstützung ziel-basierter menschlicher Kooperation.

MEKKA wird eine Vielfalt an möglichen Kooperationsstrategien wie master-slave, blackboard, contract nets, demokratische Leitung und andere zur Verfügung stellen. Auf diese Strategien können die Handlungsträger während der Planungsaktivitäten zugreifen. Jedem Handlungsträger sind diese Strategien bekannt und er weiß, für welche Anwendung welche Strategie besonders geeignet ist. Unser Formalismus gestattet den Kopf mit neuen Strategien zu versorgen. Während der Planungsphase ist der Handlungsträger in der Lage, die aktuelle Aufgabe zu analysieren und eine geeignete Kooperationsstrategie anderen relevanten Handlungsträgern vorzuschlagen.

6 Teilnahme der Handlungsträger in verschiedenen Aufgabenbereichen

Bis jetzt haben wir Handlungsträger nur als Akteure innerhalb genau einer kooperativen Aktivität, der K-Welt, betrachtet. Der Handlungsträger war zu jedem Zeitpunkt in dieser K-Welt anwesend. Aber wie ein Schachspieler möglicherweise in der Lage ist, mehrere Spiele gleichzeitig zu spielen, wobei jedes Spiel eine K-Welt für sich darstellt, so kann ein Handlungsträger auch in mehr als einer K-Welt involviert sein. Viele Handlungsträger haben Körper, die nur sequentiell arbeiten können; sie benötigen deshalb einen Mechanismus, der es ihnen erlaubt, ohne große Anstrengungen von einer K-Welt in eine andere zu wechseln. Diese Tatsache bedingt eventuell völlig verschiedene Schnittstellen zu den anderen Handlungsträgern und völlig verschiedene Köpfe.

Deshalb ist es sinnvoll, zwischen dem mehr globalen Wissen (autoepistemisches Wissen, Kooperationsstrategien), das der Kopf eines Handlungsträgers hat, und dem Wissen, das nur innerhalb einer speziellen K-Welt relevant ist (epistemisches Wissen über die Handlungsträger in der K-Welt, momentane Kooperationsstruktur), zu unterscheiden. Das globale Wissen ist Wissen, das der Handlungsträger die ganze Zeit über besitzt und das relativ statisch ist. Das andere Wissen variiert von K-Welt zu K-Welt.

Um den Wechsel zwischen den einzelnen Kontexten zu ermöglichen, haben wir das Konzept des *lambda-Agenten* definiert. Ein *lambda-Agent* ist ein Handlungsträger, dessen Körper auf den Körper eines anderen, permanent physikalisch vorhandenen Handlungsträgers verweist. Der *lambda-Agent* existiert nur solange wie die K-Welt. Der Kopf des *lambda-Agenten* ist die Erweiterung des Kopfes des physikalisch vorhandenen Handlungsträgers um das K-Welt-relevante Wissen. So hat jeder Handlungsträger einen *lambda-Agenten*, der mit der K-Welt verknüpft ist, in der sich der Handlungsträger befindet.

Der Kopf des *lambda-Agenten* beinhaltet die Annahmen und Pläne des physikalischen Handlungsträgers im speziellen Kooperationskontext. Während die tatsächlichen Handlungsträger ihr permanentes Wissen behalten, existieren *lambda-Agenten* nur für den einzigen Zweck, in einer K-Welt zu kooperieren. Dabei speichern sie die dynamische Information, die in Bezug zu dieser kooperativen Aktivität steht. Genauso wie ein Spieler an einer Vielzahl von Brettspielen teilnehmen kann und dabei Spielfiguren auf dem jeweiligen Brett zieht, so können Handlungsträger in mehreren K-Welten involviert sein. Ein *lambda-Agent* repräsentiert den tatsächlichen Handlungsträger in der jeweiligen K-Welt.

Lambda-Agenten sind besonders nützlich für Menschen, die notwendigerweise in vielen K-Welten teilnehmen müssen (glücklicherweise nicht alle zur gleichen Zeit!). Der Kopf des *lambda-Agenten* muß eine genau durchdachte Schnittstelle besitzen, in der die gegenwärtige K-Welt, die Rollen der anderen Handlungsträger usw. beschrieben sind. Dies ist vielleicht die grundlegendste Verbindung zu CSCW.

7 Schlußbemerkungen und Ausblick

Wir haben eine abstrakte Modellierungsmethode für Kooperation auf der Basis zielgerichteter Handlungen entwickelt, die eine Verbindung von CSCW und VKI erlaubt. Diese Methode umfaßt die Handlungsträger, ihre Umgebung, die Handlungen selbst und deren Koordination. Auf dieser Grundlage haben wir ferner begonnen, ein Rahmenwerk zu implementieren, das HCCW Lösungen für eine Vielzahl von Anwendungsbereichen erlaubt. Im Rahmen des ESPRIT-Projektes IMAGINE wird an der weiteren Verwirklichung dieser Umgebung in Form einer kooperationszentrierten Programmiersprache namens MAIL gearbeitet. Vorgesehene Szenarien für die Erprobung dieser HCCW-Realisierungen sind die Unterstützung von Fluglotsen und Luftverkehr sowie das Netzwerkmanagement.

Literatur

- [1] Consortium of the IMAGINE Project. IMAGINE: Integrated Multi-Agent Interactive Environment. Tech. Report ESPRIT, 1989.
- [2] Decker, K.S., Durfee, E.H., and Lesser, V.R. Evaluating Research in Cooperative Distributed Problem Solving. In *Distributed Artificial Intelligence, Volume II*. Pitman/Morgan Kaufmann, Gasser, L. and Huhns, M.N., pp. 487–519, London, 1989.
- [3] Haugeneder, H. and Steiner, D. Towards a Distributed Multi-Person Lexical Environment. In *Lexikon und Lexikographie*, 1990.
- [4] Mahling, D.E. *A Visual Language for Knowledge Acquisition, Display and Animation by Domain Experts and Novices*, Ph.D. dissertation, University of Massachusetts, February 1990.
- [5] Malone, T.W., Grant, K.R., Lay, K.Y., Rao, R., and Rosenblitt, D. Semi-structured messages are surprisingly useful for computer-supported coordination. *Transactions of Office Information Systems* 5, 2 (1987).
- [6] Rosenschein, J.S. and Breese, J.S. Communication-Free Interactions Among Rational Agents: A Probabilistic Approach. In *Distributed Artificial Intelligence, Volume II*. Pitman/Morgan Kaufmann, Gasser, L. and Huhns, M.N., pp. 99–118, London, 1989.
- [7] Sathi, A. and Fox, M.S. Constraint-Directed Negotiation of Resource Reallocations. In *Distributed Artificial Intelligence, Volume II*. Pitman/Morgan Kaufmann, Gasser, L. and Huhns, M.N., pp. 163–194, London, 1989.
- [8] Whiteside, J., Benett, J., and Holtblatt, K. Usability engineering: Our experience and evolution. In *Handbook of human-computer interaction*. North-Holland Press, Helander, M., 1987.
- [9] Winograd, T. and Flores, F. *Understanding Computers and Cognition*, Ablex 1986.

Alle Autoren sind unter folgender Adresse zu erreichen:

Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz
Projekt KIK
Postfach 2080
W-6750 Kaiserslautern